

VYUŽITIE TECHNOLOGIE GNSS NA DLHODOBÉ MERANIE VEĽKOMARSKÉHO ZOSUVU

Martin Prvý¹

Abstrakt

Príspevok je orientovaný do oblasti deformačných meraní vodorovných posunov technológiou GNSS v lokalite Veľkomarského zosuvu. Zaoberá sa popisom parametrov objektov diela, geodetickým meraním vodorovných posunov, spracovaním, znázornením a zhodnotením dosiahnutých výsledkov z hľadiska technicko-bezpečnostného dohľadu.

1 SÚČASNÝ STAV SYSTÉMOV GNSS

V geodetickej praxi sa čoraz častejšie stretávame s technológiou GPS, respektíve teraz už GNSS. Tieto systémy umožňujú určovať veľmi presne polohu objektu v 3D priestore alebo vykonávať navigáciu za akéhokoľvek počasia, kedykoľvek a kdekoľvek na zemskom povrchu. Jedinou obmedzujúcou podmienkou ich využívania je priama viditeľnosť zo satelitmi. V súčasnej dobe poznáme viacero satelitných systémov - NAVSTAR GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS/BEIDOU.

Najznámejší a najrozšírenejší je americký systém NAVSTAR GPS, ktorý sa vyvíja od roku 1973. Bol primárne budovaný ako vojenský systém, od roku 1983 v obmedzenej miere prístupný aj na použitie v civilnom sektore. Kompletný systém pozostával z 24 aktívnych družíc a troch záložných. V súčasnej dobe je aktívnych 31 družíc, ktoré vysielajú signály na dvoch nosných frekvenciách L1 a L2. Systém je neustále modernizovaný, od roku 2009 je zavedená v nových družiciach tretia frekvencia L5, ktorá bude plne funkčná v roku 2018.

2 PARAMETRE VODNEJ STAVBY LIPTOVSKÁ MARA

Objekty predmetnej sústavy boli postavené v rokoch 1967 až 1975, od roku 1975 do roku 1980 bola sústava v overovacej prevádzke, od roku 1981 je v trvalej prevádzke. Sústava vodných stavieb Liptovská Mara – Bešeňová je z hľadiska technicko-bezpečnostného dohľadu zaradená do I. kategórie vodných stavieb a pozostáva z niekoľkých základných objektov:

- priehrada a elektrárň Liptovská Mara,
- priehrada a elektrárň Bešeňová,
- prívodný kanál od priehrady Liptovská Mara k nádrži Bešeňová,

¹ Ing. Martin Prvý, Vodohospodárska výstavba š.p., Nobelova 7, 831 02 Bratislava, Tel.: +421 906 31 1611
Fax: +421 906 31 1599

- zosuvné územie nad nádržou – Veľký liptovsko-marský zosuv,
- zosuvné územie nad priehradou – Vlašský zosuv,
- ochrana obce Trnovec – ochranná hrádza s čerpacou stanicou,
- ochrana Liptovského Mikuláša – ochranná hrádza,
- ochrana obce Vlachy – ochranná hrádza s čerpacou stanicou,
- ochrana obce Vlašky – ochranná hrádza.

Parametre vodného diela Liptovská Mara:

Výška hrádze nad terénom / nad základovou škárou: 45,0 m / 52,5 m.

Dĺžka hrádze v korune: 1225 m.

Objem nádrže: 361,9 mil m³.

Účel: energetika, ochrana pred povodňami, nadlepšovanie prietokov, rekreácia, chov rýb.

Parametre vodného diela Bešeňová:

Výška hrádze nad terénom / nad základovou škárou: 12,5 m / 12,9 m.

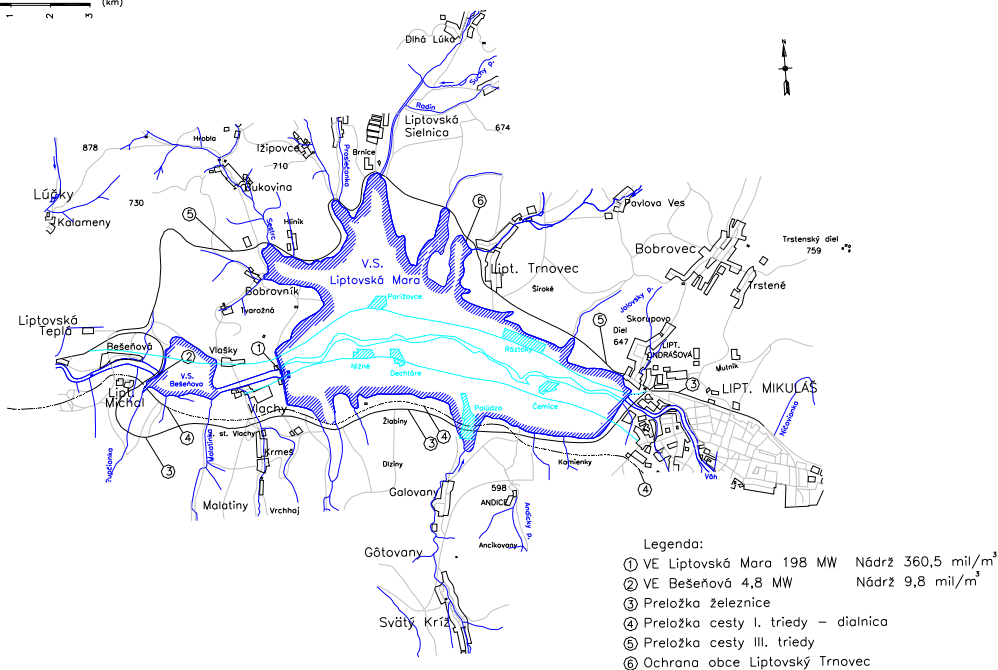
Dĺžka hrádze v korune: 1109,4 m.

Objem nádrže: 10,73 mil m³.

Účel: energetika a vyrovnávací nádrž pre VE Liptovská Mara, na korune sa nachádza elektrifikovaná dvojkolajná železničná trať.

SÚSTAVA VODNÝCH STAVIEB LIPTOVSKÁ MARA – BEŠEŇOVÁ
PREHLADNÁ SITUÁCIA

0 2 4 (km)



Obr. 1 Situácia sústavy vodných stavieb Liptovská Mara – Bešeňová

V rámci sústavy vodných stavieb Liptovská Mara – Bešeňová sa z hľadiska technicko-bezpečnostného dohľadu monitorujú dva zosuvy. Prvým je Veľký liptovsko-marský zosuv, ktorý by sa pri ušmyknutí zosunul do priestoru nádrže nebezpečne blízko vtokov na elektrárň

Liptovská Mara. Druhým je Vlačiansky zosuv, ktorý sa nachádza nad pravostranným zaviazaním telesa hrádze do svahu údolia a jeho päta je vlastne priťažaná telesom priehrady. Na rozhraní oboch zosuvov sa nachádza archeologický skanzen keltskej kultúry Havránok, ktorý je od roku 1967 národnou kultúrnou pamiatkou.

3 MONITORING VEĽKOMARSKÉHO ZOSUVU GEODETICKÝMI METÓDAMI

Svahové deformácie sú procesy, pri ktorých sa z rôznych dôvodov narúša stabilita hornín na svahu a dochádza k pohybu horninových mas, často s katastrofickými následkami. Predstavujú nebezpečenstvo pre všetky plánované a realizované stavby. Tieto územia sú málo odolné proti pôsobeniu prírodných a antropogénnych faktorov.

Monitorovanie stability sa robí geodetickými, fotogrametrickými, fyzikálnymi a inými metódami merania posunov. Medzi geodetické metódy patrí čoraz viac využívané meranie technológiou GNSS. Výhoda použitia GNSS technológií spočíva najmä v nezávislosti od priamej viditeľnosti medzi bodmi, čo poskytuje možnosť realizácie presného merania aj v oblastiach zvýšenej ochrany prírody, pretože nie je potrebné vykonávať prieseky cez porast.

V rámci geodetických deformačných meraní sa na Veľkom liptovsko-marskom zosuve merajú zvislé posuny metódou veľmi presnej nivelácie, ako aj vodorovné posuny bodov, pri ktorých došlo z dôvodu nedostatočnej stability vzťažných bodov (keďže sa nachádzame vo flyšovom území s vysokou náchylosťou na zosuvy, tak aj vzťažné body sú ovplyvnené svahovými pohybmi) k zmene metodiky merania z trigonometrickej metódy na metódu GNSS.

Na Veľkomarskom zosuve sa do roku 2013 vykonalo 35. etapových geodetických meraní, pri ktorých boli určované vodorovné a zvislé posuny na vzťažných a pozorovaných bodoch. Vzhľadom na skutočnosti, ktoré ovplyvňujú kvalitu a presnosť geodetických prác, t.j. územie zosuvu postupne zarastá vegetáciou, čo spôsobuje vzájomnú neviditeľnosť medzi jednotlivými vzťažnými a pozorovanými bodmi, nekvalitná stabilizácia vzťažných bodov a nemožnosť posúdiť ich stabilitu z dôvodu ich malého počtu sme sa rozhodli v roku 2007 popri klasickej terestrickej metóde aj pre alternatívne použitie metódy GNSS na určovanie vodorovných posunov.

Na meranie bola zvolená statická metóda, pri ktorej boli použité dve dvojfrekvenčné GPS aparatúry Leica rady 1200. Prvá aparatúra pozostávala z antény typu ATX1230 a prijímača typu RX1250X. Druhá aparatúra pozostávala z antény typu AX1202, prijímača typu GX1230 a ovládača typu RX1201T . Meranie bolo uskutočnené v 30 minútových observáciách s intervalom ukladania údajov 10 sekúnd. Vzhľadom na nestabilitu vzťažných bodov na zosuve sme do siete meraných bodov zahrnuli aj bod VI zo siete vzťažných bodov priehrady Liptovská Mara, kde sme umiestnili referenčnú stanicu.



Obr.2 Referenčná stanica na bode VI

Spracovanie nameraných údajov bolo vykonané v programe LeicaGeoOffice v 5.0 v automatickom móde. V uvedenom programe bol vypočítaný aj transformačný kľúč na transformáciu GPS merania do lokálneho súradnicového systému zosuvu. Na transformáciu boli na začiatku výpočtu použité všetky body, ktoré boli určené terestricky aj metódou GPS. Pri výpočte boli postupne eliminované body, na ktorých vychádzali veľké reziduálne zložky. Nakoniec zostalo pre výpočet transformačného kľúča 6 identických bodov, z toho 3 vzťažné a 3 pozorované, na ktorých sa pohybovali reziduálne zložky do 1,5 mm, čo sme považovali za zanedbateľné. Z použitím kľúča sme určili súradnice aj bodu VI v miestnom súradnicovom systéme zosuvu.

Ďalšie pokusné meranie technológiou GPS boli vykonané v rokoch 2008 a 2009. V roku 2009 boli použité na merania už tri aparatúry GPS a čas observácie na každom meranom bode bol predĺžený na minimálne jednu hodinu, čo malo za dôsledok zvýšenie presnosti určenia polohy meraných bodov a možnosť vyrovnania vypočítaných vektorov formou siete.

Po zhodnotení výsledkov z dvoch etáp meraní GNSS prístrojmi sme sa v roku 2010 rozhodli už len pre použitie metódy GNSS na určovanie vodorovných posunov. Etapové meranie bolo vykonané v júni, krátko po povodniach, ktoré postihli Slovensko. Na meranie boli použité tri trojfrekvenčné GNSS aparatúry Leica, rady 1200+GNSS.



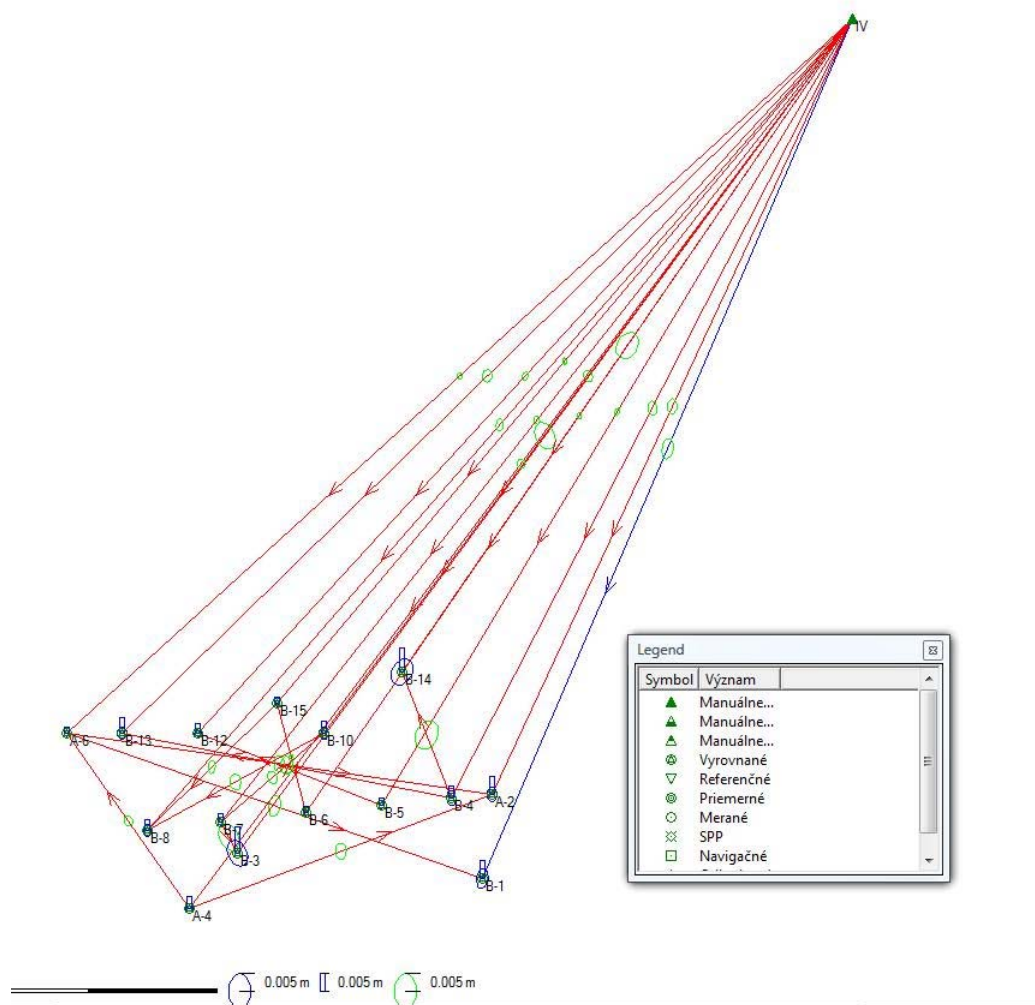
Obr.3 GNSS prístroje pri meraní v roku 2010

Meranie bolo uskutočnené v minimálne 60 minútových observáciách na každom bode, s intervalom ukladania dát 10 sekúnd. Prekryt vo vzájomnej observácii na dvoch pozorovaných bodoch bol minimálne 30 minút. Referenčná stanica bola už tradične umiestnená na bode IV. Spracovanie nameraných dát a následné vyrovnanie siete bolo vykonané v programe LeicaGeoOffice verzia 7.0. Spracovanie bolo vykonané v automatickom móde samostatne pre GPS signály, ako aj spoločne GPS a GLONASS. Bod VI. bol vo výpočte fixovaný, čím sme získali predstavu o vodorovných posunoch všetkých pozorovaných a vzťažných bodov na zosuve. Na prepočet súradníc určených systémom GNSS do miestneho súradnicového systému bol použitý transformačný kľúč z roku 2007.

Rozdiely medzi spracovaným GPS signálom a kombinovaným GPS a Glonass boli na jednotlivých bodoch do 1 mm. Presnosť určených priestorových základníc bola do 1 mm. Presnosť jednotlivých bodov po vyrovnaní siete sa pohybovala v rozpätí 0.6 až 3.1 mm. Na obr. č 4 je znázornená sieť vzťažných a pozorovaných bodov zosuvného územia s meranými základnicami a charakteristikami presnosti jednotlivých bodov po vyrovnaní siete z roku 2010.

V rokoch 2011 a 2012 boli kontrolné merania vykonané obdobným spôsobom ako v roku 2010. Bol dodržaný observačný plán merania ako aj čas merania na jednotlivých bodoch. Namerané údaje boli spracovávané naďalej v programe LeicaGeoOffice verzia 7.0

V roku 2013 prišlo v zmene dodávateľa geodetických prác na zosuve. Práce boli vykonané firmou IMS-GEO. Na meranie boli použité tri dvojfrekvenčné GNSS aparatúry Leica, dve rady 900 a jedna rady 1200+. Meranie bolo uskutočnené v 60 minútových observáciách na každom pozorovanom bode, s intervalom ukladania údajov 5 sekúnd. Prekryt vo vzájomnej observácii na dvoch pozorovaných bodoch po sebe bol 30 minút. Merania boli spracované v programe Leica GeoOffice v 5.0.



Obr. 4 Observačný plán merania vrátane elíps stredných chýb

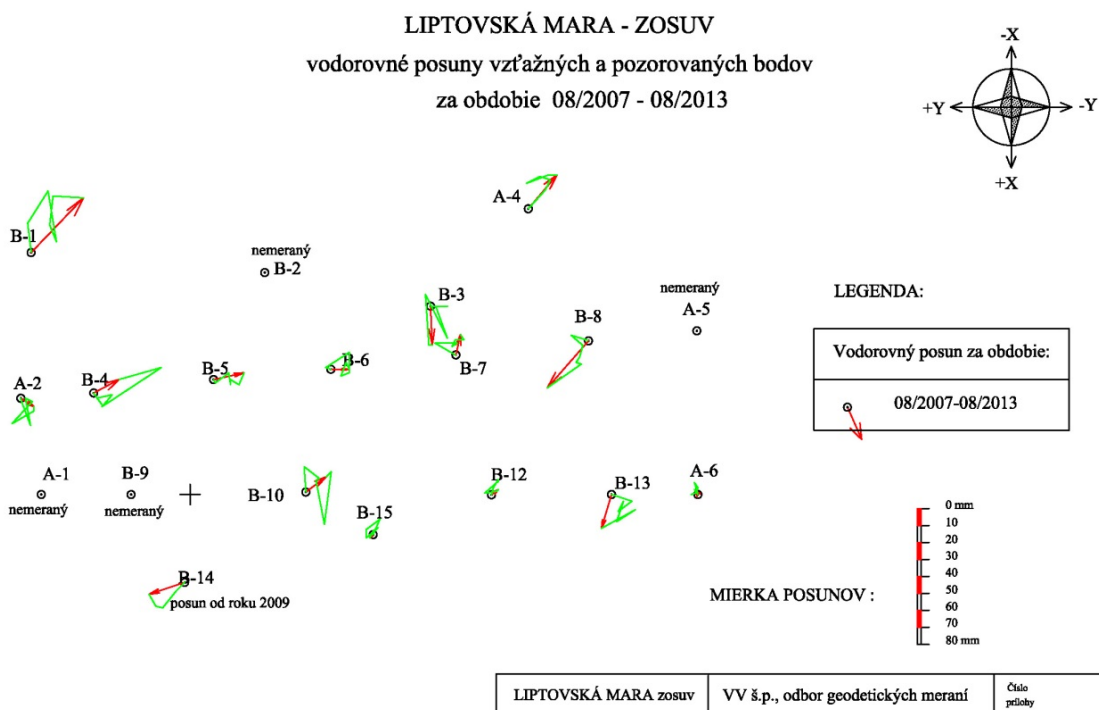
Z porovnania etáp 2007 až 2013 je vidieť nestabilitu vzťažných bodov, keď na bode A4, ktorý je mimo zosuvného územia boli namerané vodorovné posuny $dY=-12$ mm, $dX=-16$ mm, naproti tomu na bode A6, ktorý je viditeľne nahnutý a pri terestrickom meraní bol považovaný za nestabilný nenastali žiadne, alebo len minimálne, nepreukázateľné posuny $dY=+2$ mm, $dX=-2$ mm. Na pozorovaných bodoch sa pohybujú vodorovné posuny od $dY=-31$ mm, $dX=-33$ mm do $dY=+25$ mm, $dX=+28$ mm. Vodorovné posuny za obdobie od roku 2007 po jednotlivých etapách ako aj za obdobie 2007-2013, 2010-2013 a od základného merania do roku 2013 sú uvedené v nasledujúcej tabuľke. Posun v smere osi X (dX s kladným znamienkom) znamená posun smerom do vody.

Vodná stavba Liptovská Mara - zosuv

Tabuľka vodorovných posunov

Dzruženie bodov	Vodorovný posun za obdobie v mm												Súradnice bodov		Vodorovný posun za obdobie v mm					
	07.2007 - 08.2008		08.2008 - 07.2009		07.2009 - 06.2010		06.2010 - 09.2011		09.2011 - 08.2012		08.2012 - 08.2013		35. kontrolného meria		07.2007 - 08.2013		06.2010 - 08.2013		ZM - 08.2013	
	dY	dX	dY	dX	dY	dX	dY	dX	dY	dX	dY	dX	Y v [m]	X v [m]	dY	dX	dY	dX	dY	dX
Teplota	15,0			-21,0		15,0		3,0		5,0		6,0		29,0		4,0		14,0		20,0
Hĺadina	0,84			0,66		0,84		-2,25		-1,00		-1,00		559,35		-1,75		-4,25		-2,65
Vzťažné združené body																				
A-1	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	Nemeraný	Nemeraný	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
A-2	-6	16	3	-16	-4	2	12	13	-13	-5	0	-5	1156,910	405,876	-7	4	-1	3	8	35
A-4	-11	-10	-6	-3	-2	6	4	8	-7	-17	9	1	690,347	228,760	-12	-16	7	-8	12	-6
A-5	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	Nemeraný	Nemeraný	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
A-6	2	-7	-2	3	1	3	3	1	-3	-1	1	-2	499,988	500,028	2	-2	1	-2	-12	28
VI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1714,556	1604,818	0	0	0	0	0	0
Pozorované združené body																				
B-1	2	-17	-12	-19	-5	30	4	-10	-2	-17	-18	1	1142,933	274,684	-31	-33	-16	-27	-26	11
B-2	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	Nemeraný	Nemeraný	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
B-3	-10	0	7	0	-7	19	13	-26	-2	30	-2	0	763,213	315,139	-1	23	10	4	18	76
B-4	-5	7	3	-4	-9	-2	6	7	-35	-23	25	7	1094,894	400,337	-15	-9	-4	-9	0	7
B-5	-1	2	-8	-6	-1	7	0	-3	-5	3	-3	-7	985,654	388,669	-18	4	-8	-6	-9	21
B-6	3	-1	-14	-9	0	12	5	2	-3	-8	-2	3	870,205	376,605	-10	-1	1	-3	-1	40
B-7	12	-7	-13	0	3	2	-2	-4	-5	0	2	-2	738,269	362,930	-3	-12	-4	-7	-11	22
B-8	10	-3	-7	6	2	7	2	3	-3	1	20	14	623,931	348,749	25	28	19	18	37	65
B-9	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	Nemeraný	Nemeraný	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
B-10	1	-15	-9	7	2	1	-5	26	-4	-31	3	3	897,645	499,906	-12	-8	-7	-2	-15	32
B-12	-1	-4	-3	-5	0	1	8	7	-7	-1	-1	-1	703,217	500,313	-6	-2	-1	5	5	38
B-13	-12	4	8	6	-3	-6	4	12	-11	-7	20	11	584,947	500,000	5	19	13	15	-4	62
B-14	xxx	xxx	xxx	xxx	5	5	8	10	4	-1	4	-7	1018,328	594,008	xxx	xxx	15	2	-14	35
B-15	-4	-9	8	6	0	5	-7	-6	3	2	2	4	824,257	546,037	2	2	-2	0	14	52

Na obr.5 sú vykreslené ročné pohyby a výsledné vektory vodorovných posunov vzťažných a pozorovaných bodov za obdobie 2007-2013 meraných GNSS. Na obrázku vidieť tendenciu posunov smerom do centra zosuvného územia.



Obr.5 Vektory vodorovných posunov vzťažných a pozorovaných bodov za obdobie 2007-2013

4 ZÁVER

Na spresnenie družicového merania je nevyhnutné odstrániť všetky stromy a kríky v okolí vzťažných a pozorovaných bodov a udržiavať ich okolie v okruhu minimálne 10 m bez porastu. Z tohto dôvodu je potrebné vykonať generálnu údržbu zosuvného pásma, inak nebude možné zabezpečiť kontinuálne meranie zosuvu. V lokalite sa nachádza lesný porast, ktorý bude potrebné odstrániť. Pre ďalšie sledovanie a monitorovanie zosuvného územia doporučujeme vykonávať merania zvislých posunov metódou VPN a vodorovné zmeny merať použitím technológie GNSS, ktorá nám zaručuje pri použití statickej metódy presnosť určenia polohovej zmeny do 5 mm.

LITERATÚRA

- [1] HEFTY, J.- GERHÁTOVÁ E. : Súčasný stav GNSS a perspektívy jeho rozvoja.
- [2] KASANA, A.: Geodetická príloha do ES o TBD nad vodnou stavbou Liptovská Mara-Bešeňová za rok 2013.